# 2015-2020 年间海南热带雨林国家公园景观格局变化

陈圣天，付 晖*，杜彦君，付 广，陈 杰

（海南大学 林学院，海口 570228）

**摘要：**海南热带雨林国家公园森林资源富集，探究该地区景观格局时空演变特征，对维护海南岛生态安全屏障具有重要意义。该文依托 2015 和 2020 年海南热带雨林国家公园地表覆盖数据，建立景观分布格局体系，采用景观格局指数、景观动态度和转移矩阵的方法，分析海南热带雨林国家公园 10 类土地覆被类型的景观格局变化特征，探究其变化的影响因素。结果表明：（1）2015-2020 年，海南热带雨林国家公园整体景观破碎度呈现降低趋势，空间集聚性增加，综合动态度较小，景观类型整体较稳定。（2）雨林优势种常绿阔叶林面积不断增加，破碎度减小，呈正向增长态势；针叶林与灌木林面积减少；部分水体转化为湿地，面积减小；其余景观类型面积占比较小，按自然演替方向发展变化。（3）景观格局演变主要以雨林自然演替为主，其次受政策、气候等因素综合影响。综上所述，自开展海南热带雨林国家公园体制试点以来，其景观格局趋于稳定。政策引导发挥着重要的正向作用，有针对性的开展热带雨林景观保护及修复工作，有助于海南热带雨林国家公园可持续发展。

**关键词：**景观格局，演变，海南热带雨林国家公园，影响因素

**中图分类号：**Q948　　　　　　**文献标识码：**

# Landscape pattern changes of Hainan Tropical Rainforest National Park from 2015 to 2020

CHEN Shengtian, FU Hui*, DU Yanjun, FU Guang, CHEN Jie

(*College of Forestry, Hainan University*, Haikou 570228, China)

**Abstract:** Hainan Tropical Rainforest National Park is located in the middle mountainous region of Hainan Province, and it has a diverse landscape with 95.56% forest coverage. Studying the evolutionary aspects of the landscape pattern in time and space in Hainan Tropical Rainforest National Park is extremely important for preserving and enhancing Hainan Province's ecological security barrier. The landscape pattern index, landscape single-motion attitude, and transfer matrix were used to examine the geographical and temporal evolution features of the landscape pattern of ten types of land cover types in Hainan Tropical Rainforest National Park between 2015 and 2020. The paper used ground cover data from the Hainan Tropical Rainforest National Park between 2015 and 2020 to develop a landscape pattern distribution system based on actual ecological situations. Other elements that affected the evolution of the landscape pattern in Hainan Tropical Rainforest National Park included policies, climate, and other natural and human factors. The results were as follows: (1) The overall landscape fragmentation of Hainan Tropical Rainforest National Park reduced between 2015 and 2020, increasing spatial agglomeration of the landscape, decreasing integrated dynamic attitude, and generally steady development of landscape types. (2) The area of evergreen broad-leaved forest in the tropical rainforest has increased in five years,

---

**基金项目：**海南省自然科学基金（421QN264）；海南大学教务管理改革研究项目（hdxfz2204）；海南大学 2022-2023 学年基层党建研究专项课题（Hddj43）。

**第一作者：**陈圣天（1998-），硕士研究生，研究方向为景观生态规划研究，(E-mail)omoyatt@163.com。

***通信作者：**付晖，博士，副教授，研究方向为景观生态规划研究，(E-mail)iflying@126.com。

with an increase of 531.38 km$^2$, a decrease in fragmentation, and a positive growth trend, and the landscape tends to be concentrated in patches; on the other hand, the area of needle-leaved forest and shrubwood has been significantly reduced, with losses of 189.53 km$^2$ and 294.74 km$^2$ respectively; there was also a partial transformation of water. The area of the water landscape has been somewhat reduced, and the patches tend to be concentrated and spread; the remainder of the landscape types account for a relatively modest amount, and develop and change in the direction of natural succession. (3) The landscape pattern evolution of Hainan Tropical Rainforest National Park was primarily based on natural succession of the rainforest, followed by a comprehensive impact of policy, climate, and other factors, which reduced human factors on the tropical rainforest landscape interference and was conducive to improving the rainforest ecosystem's self-healing capacity. To summarize, the landscape pattern of Hainan Tropical Rainforest National Park has been stable since the commencement of the pilot project, and policy direction has played an essential constructive role. The targeted conservation and restoration of the tropical rain forest environment will help to the Hainan Tropical Rainforest National Park's long-term growth.
**Keywords:** landscape pattern, evolution, Hainan Tropical Rainforest National Park, influencing factors



景观格局是大小形状各异的景观嵌块体在空间上的排列情况，既是景观异质性的具体表现，又反映了自然和人为因素在时空上的共同作用结果（曹嘉铄等，2021; McGarigal et al., 2023）。频繁的城镇化活动、全球气候变化等是影响全球景观变化的重要驱动因素之一(Plieninger & Bieling, 2012)，随着时间的推移，人类加速环境变化，生态景观趋于破碎化发展，一旦超出其所能承受的限度，生态系统的各项生态功能及自我修复力将显著降低（Beller et al., 2019），土壤质量下降、生物多样性丧失等问题层出不穷（Scheffer et al., 2015; Li et al., 2020; Zhang et al., 2020）。加强景观格局时空变化规律的研究，广泛开展景观变化监测和保护，对维护区域生态安全具有重要意义(Manolaki et al., 2021)。

随着遥感技术与地理信息系统的发展，众多学者运用景观格局指数等方法定量描述和监测景观结构的变化特征（Turner & Ruscher, 1988; Szilassi et al., 2017），分析影响景观变化的驱动机制（Tzanopoulos & Vogiatzakis, 2011; You et al.,2023），亦或借助 CLUE 模型进行多层次、多尺度的土地利用动态变化模拟（Das et al., 2019），全过程探讨景观格局时空演变特征。但由于热带雨林的自身复杂性以及深入调查的困难性，现有研究中对热带雨林地区的景观演变研究较少。

2018 年，习近平总书记在“4•13”重要讲话中强调，“要积极开展国家公园体制试点，建设热带雨林等国家公园，构建归属清晰、权责明确、监管有效的自然保护地体系。”目前，我国对国家公园的研究尚在起步阶段，主要侧重于管理体制的建立、法律机制的完善等方面（黄宝荣等，2018），亦存在着一些尚未解决的问题和困难（臧振华等，2020）。因此，借鉴国内外优秀经验，对国家公园景观格局破碎化程度展开细致评估（Muhammed & Elias, 2021; Zhang et al., 2022），对维护典型生态系统的完整性至关重要。海南热带雨林国家公园于 2021 年 10 月 12 日入选我国第一批国家公园，早前研究主要侧重于群落植物组成及多样性变化格局的研究（Chen et al., 2014; Liu et al., 2020），景观格局研究对象主要为各国家级自然保护区或主要林区（Lan et al., 2020），对土地利用结构及景观格局进行监测，宏观把握林地动态演变规律（肖智等，2010；刘晓双，2010b；宋晓丽等，2013），运用空间分析等方法探究保护区景观脆弱性（韦庆高和孟伟，2015），亦有学者对热带雨林国家公园土地利用变化与生态系统服务价值进行了相关性分析（Li et al., 2022）。但以往的研究尚且缺少对海南热带雨林国家公园景观格局演变驱动力的探讨，并忽视了对各保护区外部联结地带的全域景观格局分析。常绿阔叶林是海南热带雨林国家公园的优势种群，寻找林地景观薄弱地

区，有针对性的提高保护工作，定量评估自然与人为因素对景观破碎程度的影响，是开展热带雨林生态修复的重要基础。

基于此，本研究以海南热带雨林国家公园全范围为研究对象，依托 2015 年、2020 年精细地表覆盖产品，采用景观格局指数和景观动态变化模型的方法，拟探讨以下问题：（1）近 5 a 热带雨林国家公园景观格局呈现怎样的变化特征；（2）影响热带雨林国家公园景观变化的因素有哪些。以期为海南热带雨林国家公园规划和可持续发展提供科学参考。

# 1 材料与方法

## 1.1 研究区域概况

海南热带雨林国家公园（后称研究区），位于海南省中部山区（108°44′ －110°4′ E、18°33′ −19°14′ N），东起吊罗山国家森林公园，西至尖峰岭国家级自然保护区，南至保亭县毛感乡，北至黎母山省级自然保护区，是亚洲热带雨林和世界季风常绿阔叶林交错带上唯一的“大陆性岛屿型”热带雨林。总面积约为 4 000 多平方千米，约占海南岛陆域面积的 1/7。气候类型为热带海洋性季风气候，全年高温多雨，多年平均气温 24.67 ℃，降雨量为 1 759 mm。土壤主要为砖红壤、赤红壤等。研究区地势中间高四周低，以五指山、鹦哥岭为最高核心，海拔逐渐降低，最高海拔为五指山 1 867 m。拥有丰富的动植物种类及种质资源，如海南苏铁（*Cycas hainanensis*）、海南长臂猿（*Nomascus hainanus*）等海南特有物种，森林覆盖率高达 95.56%。

## 1.2 数据来源及处理

本研究选用国家公园设立前后 2015 年、2020 年 2 期全球 30 米精细地表覆盖产品（GLC_FCS30-2015、GLC_FCS30-2020），数据来源于中国科学院空天信息创新研究院刘良云研究员团队[1]。降雨、温度等气象数据来源于中国天气网[2]；台风数据来源于国家环境信息中心[3]；研究区范围由海南热带雨林国家公园总体规划（2019−2025）规划边界矢量化生成。

将基础数据导入 ENVI5.3 进行几何校正和图像镶嵌处理，运用 ArcGIS 根据海南热带雨林国家公园矢量边界进行裁剪，得到研究区 2015 年、2020 年土地覆盖类型图。本研究参照国际 IGBP 的 LUCC 分类体系和 GLC_FCS30 的 30 类土地覆盖类型，如下图 1 所示，结合研究区实际景观情况和研究目的将研究区景观类型分为旱地、草本植物、灌溉农田、常绿阔叶林、落叶阔叶林、针叶林、灌木林、湿地、不透水层、水体 10 类。

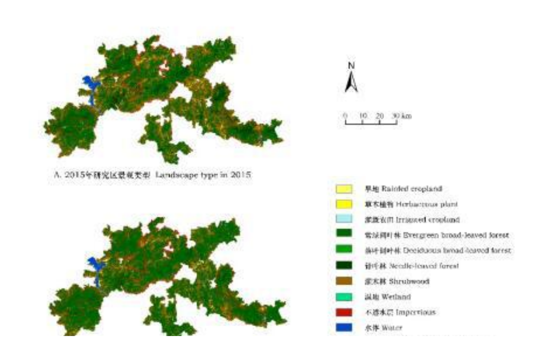



图 1 2015 年、2020 年海南热带雨林国家公园景观类型图
Fig. 1 Landscape type of Hainan Tropical Rainforest National Park in 2015 and 2020

---

[1] 中国科学院空天信息创新研究院刘良云研究员团队（http://data.casearth.cn）
[2] 中国天气网（http://www.weather.com.cn/）
[3] 国家环境信息中心（https://www.noaa.gov/）

### 1.3 景观格局分析方法

1.3.1 景观格局指数

景观格局揭示了形状大小各异的景观要素在空间上排列组合情况，景观格局指数采用定量分析的方法，高度浓缩概括景观空间结构的动态变化特征（俞飞和李智勇，2020；贾艳艳等，2020）。基于研究区景观植被特征，本研究从类型和景观两个尺度进行研究。类型水平选取斑块占景观面积比例(PLAND)、斑块数量(NP)、斑块密度(PD) 、平均斑块面积(AREA_MN)、最大斑块指数(LPI)、景观形状指数(LSI)、斑块结合度指数(COHESION)；景观水平选择斑块数量(NP)、蔓延度指数(CONTAG)、聚合度指数(AI)、香农多样性指数(SHDI)、香农均匀度指数(SHEI)。计算基于 Fragstats4.2 完成。

1.3.2 景观动态变化模型

景观动态变化分析可综合反映某个时间范围内景观格局变化情况，对比较景观格局变化的区域差异和预测景观格局未来趋势具有积极作用（李丹等，2020）。为充分研究 5 a 间研究区景观格局变化特征，本研究引入单一景观动态度和景观转移矩阵构建景观动态变化模型。

单一景观动态度能准确反映某个时间范围内研究区景观变化的活跃程度及数量情况（王秀兰，2000），其计算公式为：

$$K=\frac{U_b-U_a}{U_a}\times\frac{1}{T}\times 100\% \quad (1)$$

式中：$K$ 为研究时段内某景观单一动态度；$Ua$、$Ub$ 分别为研究期初及研究期末某一种景观类型的面积，km²；$T$ 为研究时段长，年。

景观转移矩阵模拟景观从一种状态向另一种状态转移的动态过程，能够定量的解释各景观格局之间的具体转换方向，具有重要统计学意义（杨钦等，2020），其数学表达式为：

$$S_{ij}=\begin{vmatrix} S_{11} & S_{21} & \cdots & S_{n1} \\ S_{12} & S_{22} & \cdots & S_{n2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ S_{1n} & S_{2n} & \cdots & S_{nn} \end{vmatrix} \quad (2)$$

式中：$S$ 为各景观的面积；$n$ 为转移前后景观格局的类型数；$i$、$j$ 分别为研究期初级研究期末的景观类型。

## 2 结果与分析

### 2.1 海南热带雨林国家公园景观结构特征

研究区属典型热带雨林环境，景观类型丰富。主导景观为常绿阔叶林，其次为灌木林，两种景观类型总占比由 89%上升至 94%。2015 和 2020 年常绿阔叶林面积占比均超过 50%，表明随着保护力度不断增强，增长趋势显著，5 a 间面积增长 531.38 km²。主要变化区域为五指山、吊罗山核心保护区及猕猴岭周边地区。灌木林比重降低，向常绿阔叶林转化，面积减少 294.74 km²，主要分布于五指山康运岭及什寨岭。落叶阔叶林、湿地、不透水层面积呈快速增长趋势，而旱地、草本植物、灌溉农田、针叶林、水体景观面积则趋于减少。湿地景观占比最小，主要分布于大广坝水库及昌化江流域。2020 年景观类型面积大小关系依次为常绿阔叶林>灌木林>针叶林>水体>旱地>灌溉农田>草本植物>落叶阔叶林>不透水层>湿地。

表 1 2015 年、2020 年海南热带雨林国家公园各景观类型面积及占比

Table 1 Landscape area and proportion of Hainan Tropical Rainforest National Park in 2015 and 2020

| 景观类型 Landscape pattern | 2015 | | 2020 | |
|---|---|---|---|---|
| | 面积 Area (km²) | 占比 Proportion (%) | 面积 Area (km²) | 占比 Proportion (%) |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 旱地 Rainfed cropland | 53.05 | 1.21 | 47.71 | 1.09 |
| 草本植物 Herbaceous plant | 49.13 | 1.12 | 6.67 | 0.15 |
| 灌溉农田 Irrigated cropland | 10.12 | 0.23 | 8.56 | 0.19 |
| 常绿阔叶林 Evergreen broad-leaved forest | 2 476.45 | 56.36 | 3 007.83 | 68.45 |
| 落叶阔叶林 Deciduous broad-leaved forest | 1.62 | 0.04 | 6.46 | 0.15 |
| 针叶林 Needle-leaved forest | 288.11 | 6.56 | 98.58 | 2.24 |
| 灌木林 Shrubwood | 1 449.22 | 32.98 | 1 154.49 | 26.27 |
| 湿地 Wetland | 0.09 | 0.002 | 1.05 | 0.02 |
| 不透水层 Impervious | 1.28 | 0.03 | 2.39 | 0.05 |
| 水体 Water | 64.98 | 1.48 | 60.32 | 1.37 |

### 2.2 海南热带雨林国家公园景观指数变化特征

从类型尺度分析，5 a 间研究区景观 NP 及 PD 总体呈下降趋势，仅落叶阔叶林、湿地和不透水层稍有增长，说明三者景观破碎度增加。常绿阔叶林 NP 显著下降，但其面积逐年增加，AREA_MN 增长量最高，表示斑块连接成片集中分布，异质性和破碎度减弱。草本植物 PD 呈下降趋势，景观破碎度降低。水体 AREA_MN 最大且呈现增长态势，主要分布于大广坝水库，但其 NP 较小，表明水体斑块趋于集中。常绿阔叶林 LPI 最大且增长速率最快，表明常绿阔叶林是研究区的主要景观类型，抵御干扰能力较强。其次灌木林 LPI 较高，但 5 a 间灌木林面积趋于减少，LPI 显著降低，景观优势度减弱，说明人类活动等外因干扰对灌木林演替造成一定影响。灌木林 LSI 最高，说明研究区灌木林斑块形状较不规则，边际效应显著。但除落叶阔叶林、湿地和不透水层外，5 a 间各景观类型 LSI 均呈现下降趋势，斑块形状趋于规则，与外界产生交互作用的可能性减弱。除湿地外，研究区各景观类型 COHESION 均较高，其中常绿阔叶林和水体 COHESION 数值趋于 100%。表示常绿阔叶林和水体的景观连通性极高。湿地景观分布较为分散，连通性较弱。

从景观尺度分析，受优势景观常绿阔叶林影响，研究区整体 NP 显著下降，景观破碎度降低。5 a 间整体景观 CONTAG 和 AI 较高且呈现增长趋势，表示研究区景观空间聚集性增强，优势景观常绿阔叶林将整体景观串联，形成了较高的连接度。SHDI 和 SHEI 数值较低且 5 a 间呈现下降趋势，说明研究区各景观类型比例差异增强，景观丰富度较低，优势度增强。

表 2 2015 年、2020 年海南热带雨林国家公园类型水平景观指数

Table 2 Landscape index of Hainan Tropical Rainforest National Park in 2015 and 2020

| 年份 Year | 景观类型 Landscape pattern | PLAND | NP | PD | AREA_MN | LPI | LSI | COHESION |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2015 | 旱地 Rainfed cropland | 1.25 | 9 352 | 2.13 | 0.59 | 0.04 | 124.00 | 85.15 |
| | 草本植物 Herbaceous plant | 1.25 | 22 617 | 5.14 | 0.24 | 0.01 | 168.21 | 60.53 |
| | 灌溉农田 Irrigated cropland | 0.24 | 2 999 | 0.68 | 0.35 | 0.01 | 65.59 | 74.43 |
| | 常绿阔叶林 Evergreen broad-leaved forest | 56.04 | 36 591 | 8.32 | 6.73 | 15.91 | 258.90 | 99.81 |
| | 落叶阔叶林 Deciduous broad-leaved forest | 0.04 | 958 | 0.22 | 0.19 | 0.004 | 33.43 | 54.84 |
| | 针叶林 | 6.75 | 28 020 | 6.37 | 1.06 | 0.57 | 174.92 | 96.21 |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Needle-leaved forest | | | | | | | |
| | 灌木林 Shrubwood | 32.93 | 41 054 | 9.34 | 3.53 | 7.42 | 314.07 | 99.44 |
| | 湿地 Wetland | 0.002 | 82 | 0.02 | 0.13 | 0.000 1 | 9.09 | 19.76 |
| | 不透水层 Impervious | 0.03 | 273 | 0.06 | 0.46 | 0.004 | 18.75 | 74.99 |
| | 水体 Water | 1.47 | 264 | 0.06 | 24.50 | 1.33 | 13.05 | 99.43 |
| 2020 | 旱地 Rainfed cropland | 1.11 | 5 891 | 1.34 | 0.83 | 0.04 | 95.89 | 87.34 |
| | 草本植物 Herbaceous plant | 0.17 | 3 717 | 0.85 | 0.20 | 0.004 | 64.59 | 49.16 |
| | 灌溉农田 Irrigated cropland | 0.20 | 2 738 | 0.62 | 0.32 | 0.01 | 63.56 | 69.78 |
| | 常绿阔叶林 Evergreen broad-leaved forest | 67.99 | 15 455 | 3.51 | 19.35 | 29.00 | 172.67 | 99.91 |
| | 落叶阔叶林 Deciduous broad-leaved forest | 0.16 | 2 635 | 0.60 | 0.26 | 0.003 | 56.50 | 60.07 |
| | 针叶林 Needle-leaved forest | 2.38 | 14 267 | 3.24 | 0.73 | 0.12 | 134.16 | 89.08 |
| | 灌木林 Shrubwood | 26.54 | 37 617 | 8.55 | 3.10 | 1.06 | 261.15 | 98.25 |
| | 湿地 Wetland | 0.02 | 566 | 0.13 | 0.19 | 0.001 | 25.91 | 45.37 |
| | 不透水层 Impervious | 0.06 | 795 | 0.18 | 0.31 | 0.003 | 30.71 | 62.69 |
| | 水体 Water | 1.37 | 196 | 0.04 | 30.72 | 1.22 | 11.61 | 99.38 |

注：**PLAND**. 斑块占景观面积比例(%)；**NP**. 斑块数量；**PD**. 斑块密度(个·$hm^{-2}$)；**AREA_MN**. 平均斑块面积($hm^{-2}$)；**LPI**. 最大斑块指数(%)；**LSI**. 景观形状指数(%)；**COHESION**. 斑块结合度指数(%)。下同。

Note: **PLAND**. Patch accounted for the proportion of landscape area (%); **NP**. Patch number; **PD**. Patch density (psc• $hm^{-2}$); **AREA_MN**. Average patch area ($hm^{-2}$); **LPI**. Maximum patch index (%); **LSI**. Landscape shape index (%); **COHESION**. Patch cohesion index (%). The same bellow.

表 3 2015 年、2020 年海南热带雨林国家公园景观水平景观指数

Table 3 Landscape index of landscape level in Hainan Tropical Rainforest National Park in 2015 and 2020

| 年份 Year | NP | CONTAG | AI | SHDI | SHEI |
|---|---|---|---|---|---|
| 2015 | 142 210 | 63.45 | 79.34 | 1.06 | 0.46 |
| 2020 | 83 877 | 71.69 | 85.68 | 0.85 | 0.37 |

注：**NP**. 斑块数量；**CONTAG**. 蔓延度指数(%)；**AI**. 聚合度指数(%)；**SHDI**. 香农多样性指数；**SHEI**. 香农均匀度指数。下同。

Note: **NP**. Number of patches; **CONTAG**. Sprawl index (%); **AI**. Aggregation index (%); **SHDI**. Shannon

diversity index; **SHEI**. Shannon uniformity index. The same bellow.

**2.3 海南热带雨林国家公园整体景观类型动态转移**

从景观类型转化方向上看：①转移量最大为常绿阔叶林，主要由灌木林和针叶林转化而来，转化面积分别为 512.97 km$^2$、203.97 km$^2$，占全部转移量的比例依次为 17.05%、6.78%。针叶林转化区域主要集中分布于亚恩村旧址、五指山及吊罗山保护区核心区。②依水灌溉农田，导致近岸水体硬化，水体向湿地、旱地和灌溉农田转化，转化面积分别为 0.58 km$^2$、1.94 km$^2$、2.34 km$^2$，转化比例依次为 0.89%、2.99%、3.60%，转化区域主要分布于大广坝水库两岸和昌化江什运乡段。③草本植物主要转化为灌木林，转化面积为 37.58 km$^2$，转化比例为 76.49%。转化区域主要分布于霸王岭核心区白沙县。④旱地与常绿阔叶林部分转化为落叶阔叶林，转化面积分别为 1.41 km$^2$、1.72 km$^2$，转化比例依次为 21.83%、26.59%。⑤旱地主要与灌木林相互转化。灌溉农田和不透水层转移变化较小。

从面积变化和动态度分析：①常绿阔叶林、灌木林及针叶林占据主导，其余景观面积变化较少。面积变化绝对值从大到小为：常绿阔叶林>灌木林>针叶林>草本植物>旱地>落叶阔叶林>水体>灌溉农田>不透水层>湿地。②动态度绝对值从高到低为：湿地>落叶阔叶林>不透水层>草本植物>针叶林>常绿阔叶林>灌木林>灌溉农田>旱地>水体。动态度受初始面积影响，仅有常绿阔叶林、落叶阔叶林、湿地及不透水层面积为正向增长，动态度为正值。湿地动态度变化值最大，水体变化最小。

计算综合动态度可以从整体角度统筹分析热带雨林国家公园及各保护区景观类型的变化情况，2015−2020 年间热带雨林国家公园综合动态度为 2.45%。参照刘纪远等（2014）相关研究，研究区综合动态度属极缓慢变化型，景观类型变化缓慢，景观类型维持基本稳定，受人为因素的干扰较小，景观植被自然演替，生态系统稳定性较好。

表 4 2015−2020 年海南热带雨林国家公园景观类型动态度

Table 4 Dynamic attitude of landscape type dynamics in Hainan tropical rainforest national parks, 2015−2020

| 景观类型 Landscape pattern | 2015 面积 Area (km²) | 2020 面积 Area (km²) | 面积变化 Area change (km²) | 动态度 Dynamic (%) |
|---|---|---|---|---|
| 旱地 Rainfed cropland | 53.05 | 47.71 | -5.34 | -2.01 |
| 草本植物 Herbaceous plant | 49.13 | 6.67 | -42.45 | -17.28 |
| 灌溉农田 Irrigated cropland | 10.12 | 8.56 | -1.56 | -3.09 |
| 常绿阔叶林 Evergreen broad-leaved forest | 2 476.45 | 3 007.83 | 531.38 | 4.29 |
| 落叶阔叶林 Deciduous broad-leaved forest | 1.62 | 6.46 | 4.83 | 59.55 |
| 针叶林 Needle-leaved forest | 288.11 | 98.58 | -189.53 | -13.16 |
| 灌木林 Shrubwood | 1 449.22 | 1 154.49 | -294.74 | -4.07 |
| 湿地 Wetland | 0.09 | 1.05 | 0.95 | 204.39 |
| 不透水层 Impervious | 1.28 | 2.39 | 1.11 | 17.33 |
| 水体 Water | 64.98 | 60.32 | -4.66 | -1.44 |

表 5 2015−2020 年海南热带雨林国家公园景观转移矩阵

Table 5 Landscape Transfer Matrix for Hainan Tropical Rainforest National Park, 2015−2020

| 2015 | 2020 | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 旱地 Rainfed cropland (km²) | 草本植物 Herbaceous plant (km²) | 灌溉农田 Irrigated cropland (km²) | 常绿阔叶林 Evergreen broad-leaved forest (km²) | 落叶阔叶林 Deciduous broad-leaved forest (km²) | 针叶林 Needle-leaved forest (km²) | 灌木林 Shrubwood (km²) | 湿地 Wetland (km²) | 不透水层 Impervious (km²) | 水体 Water (km²) | 总计 total (km²) |
| 旱地 | 20.97 | 1.10 | 2.27 | 1.38 | 1.41 | 2.42 | 21.78 | 0.16 | 0.99 | 0.58 | 53.05 |

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Rainfed cropland | | | | | | | | | | | |
| 草本植物 Herbaceous plant | 3.79 | 1.82 | 0.80 | 3.38 | 0.61 | 0.72 | 37.58 | 0.07 | 0.18 | 0.17 | 49.13 |
| 灌溉农田 Irrigated cropland | 3.91 | 0.43 | 1.97 | 0.07 | 0.44 | 0.34 | 1.16 | 0.20 | 0.39 | 1.23 | 10.12 |
| 常绿阔叶林 Evergreen broad-leaved forest | 2.16 | 0.31 | 0.10 | 2 285.65 | 1.72 | 14.79 | 171.68 | 0.001 | 0.03 | 0.01 | 2 476.45 |
| 落叶阔叶林 Deciduous broad-leaved forest | 0.33 | 0.01 | 0.01 | 0.35 | 0.05 | 0.02 | 0.84 | 0.001 | 0.01 | / | 1.62 |
| 针叶林 Needle-leaved forest | 0.25 | 0.15 | 0.07 | 203.97 | 0.33 | 77.60 | 5.69 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 288.11 |
| 灌木林 Shrubwood | 13.87 | 2.21 | 0.89 | 512.97 | 1.35 | 2.40 | 914.98 | 0.03 | 0.31 | 0.22 | 1 449.22 |
| 湿地 Wetland | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.003 | 0.01 | 0.01 | 0.09 |
| 不透水层 Impervious | 0.48 | 0.01 | 0.10 | 0.004 | 0.004 | 0.005 | 0.07 | 0.001 | 0.46 | 0.15 | 1.28 |
| 水体 Water | 1.94 | 0.62 | 2.34 | 0.06 | 0.54 | 0.26 | 0.71 | 0.58 | 0.01 | 57.93 | 64.98 |
| 总计 total | 47.71 | 6.67 | 8.56 | 3 007.83 | 6.46 | 98.58 | 1 154.49 | 1.05 | 2.39 | 60.32 | 4 394.06 |

## 3 景观格局变化影响因素

**3.1 政策因素**

自 1998 年“天保工程”在海南实施以来，海南省天然林得到了有效保护，森林蓄积量和覆盖率连年攀升。2013 年海南省政府发布《海南省绿化宝岛大行动工程建设总体规划》，进一步加强天然林保护。此外，海南省自 2006 年建立了生态公益林地方配套机制，补偿标准逐年攀升，从 2006 年 3 元/亩提升至 2017 年 18 元/亩，大大提升了农民参与生态保护的积极性。为保护区天然林安全稳定生长提供生态保障，有效防控重大危险性林业有害生物危害林业发展，2015 年 4 月，五指山等周边四市县森防站共同签订了《林业有害生物联防联治协议》。自 2016 年以来，海南省法院先后在鹦哥岭、霸王岭等保护区设立巡回法庭，为珍稀热带雨林环境资源和野生动植物保护提供有力的司法保障。一系列政策举措彰显了海南政府致力于保护雨林生态环境的决心与毅力，促使热带雨林国家公园范围内违法砍伐现象逐年减少，生态修复工作有序开展，天然林地面积不断增加，景观连绵成片，破碎化程度减小。

此外，为解决长臂猿等珍稀野生动物食源植物补充和栖息地破碎化的问题，自 2013 年起，海南省林业部门在霸王岭自然保护区采用人工干预的方式修建生态廊道，通过在南叉河地区改造 400 亩松树林，种植长臂猿食源植物，修建混交林区（彭文成等，2022）。这也是研究区尤其是霸王岭片区阔叶林面积增长的重要原因之一。

**3.2 气候因素**

基于2015–2020年研究区9个县区月平均降水和温度数据，分析海南热带雨林国家公园的气候变化。统计得知2015年研究区年均温为24.55 ℃，年降水量为130.89 mm，2020年年均气温24.80 ℃，年降水量145.97 mm。总体而言，5 a间研究区降雨及温度均呈现上升趋势，平均增温0.25 ℃，降水量平均增加15.08 mm，一定程度上有利于形成促进植被生长的水热条件，且研究区范围内土壤以富含有机质的红壤为主，有利于热带雨林优势种群常绿阔叶林景观正向积极演替。另一方面，台风过境等恶劣气候对雨林植被生长会产生如林冠层破坏等负面影响，产生大量林窗，风倒木和山体滑坡等现象。2015–2020年间共有3次强热带风暴席卷海南热带雨林国家公园，其中2016年登陆的3号台风“银河”与2018年9号台风“山神”，伴随8-9级大风及强降雨东西向穿越五指山和尖峰岭核心保护区，对大径级乔木层植株造成损害，甚至改变区域景观优势种，这可能是造成五指山片区针叶林减少的原因之一，同时台风过境形成的林窗，一定程度上促进了幼木层和下木层植被的生长，有利于雨林植被更新（许涵，2010）。

表 6 2015、2020年各气象站点年平均降水及气温统计表

Table 6 Annual average precipitation and temperature of each meteorological station in 2015 and 2020

| 气象站点名称 Meteorological station name | 2015年平均气温 Average temperature in 2015 (℃) | 2015年降水量 Precipitation in 2015 (mm) | 2020年平均气温 Average temperature in 2020 (℃) | 2020年降水量 Precipitation in 2020 (mm) |
|---|---|---|---|---|
| 昌江 Changjiang | 24.58 | 130.04 | 24.94 | 143.93 |
| 保亭 Baoting | 24.98 | 138.01 | 25.16 | 162.69 |
| 万宁 Wanning | 25.28 | 146.14 | 25.42 | 159.70 |
| 乐东 Ledong | 24.70 | 123.43 | 25.00 | 137.97 |
| 陵水 Lingshui | 25.35 | 135.91 | 25.51 | 154.88 |
| 五指山 Wuzhishan | 22.53 | 126.82 | 22.91 | 152.00 |
| 东方 Dongfang | 25.71 | 74.68 | 25.85 | 86.16 |
| 琼中 Qiongzhong | 23.78 | 148.63 | 24.05 | 158.91 |
| 白沙 Baisha | 24.04 | 154.38 | 24.37 | 157.52 |
| 平均值 Average | 24.55 | 130.89 | 24.80 | 145.97 |

**3.3 地形因素**

将研究区高程图与景观转移图叠加分析得知：针叶林转入常绿阔叶林总面积为203.92 $km^2$，在海拔800-1 400米的区域转化率较高，共有173.53 $km^2$，占比为85.09%，主要分布于为五指山、霸王岭、吊罗山核心保护区，青春岭，蛙岭及猕猴岭。灌木林转入常绿阔叶林总面积为512.45 $km^2$，主要分布于200-800米的低海拔山地，面积为409.87 $km^2$，占比79.98%。草本植物转入灌木林总面积为37.45 $km^2$，在400米以下的低海拔丘陵地带转化率较高，面积共有22.00 $km^2$，占比58.74%，上述转化的分布地区与植被自然生长规律较为符合。对研究区进行坡度坡向分析，结果表明在坡度较为平缓、西北向、低海拔山地的背坡地带，降雨量较小，灌木林向旱地转化较为显著。研究区地势复杂，相较于坡度与地貌，高程对景观类型变化影响较大，三者的交互作用均呈现非线性增强特征。

表 7 景观格局转化与高程分析

Table 7 Landscape pattern transformation and elevation analysis

| 高程 Elevation (m) | 针叶林转入常绿阔叶林 Needle-leaved forest into Evergreen broad-leaved forest | | 灌木林转入常绿阔叶林 Shrubwood into Evergreen broad-leaved forest | | 草本植物到灌木林 Herbaceous plant into Shrubwood | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 面积 Area (km²) | 占比 Proportion (%) | 面积 Area (km²) | 占比 Proportion (%) | 面积 Area (km²) | 占比 Proportion (%) |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| <200 | 0.51 | 0.25 | 10.91 | 2.13 | 4.55 | 12.16 |
| 200~400 | 4.71 | 2.31 | 109.31 | 21.33 | 17.44 | 46.58 |
| 400~600 | 14.76 | 7.24 | 159.07 | 31.04 | 11.4 | 30.44 |
| 600~800 | 29.88 | 14.65 | 141.49 | 27.61 | 2.28 | 6.08 |
| 800~1 000 | 58.84 | 28.85 | 75.2 | 14.67 | 1.21 | 3.22 |
| 1 000~1 200 | 56.45 | 27.68 | 15.15 | 2.96 | 0.47 | 1.24 |
| 1 200~1 400 | 28.36 | 13.91 | 1.2 | 0.24 | 0.1 | 0.27 |
| 1 400~1 600 | 8.54 | 4.19 | 0.13 | 0.02 | 0.001 | 0.00 |
| ⩾1 600 | 1.87 | 0.92 | 0.01 | 0.00 | 0.003 | 0.01 |
| 总计 total | 203.92 | 100.00 | 512.45 | 100.00 | 37.45 | 100.00 |

### 3.4 人类活动因素

热带雨林国家公园范围内人为活动较少，本研究选取居民点及道路分布情况表征人类活动的强度，探究人类活动对景观格局变化的影响。对研究区内 18 个集中居民点进行多环缓冲区分析，表示不同人类活动强度的影响（图 2：A）。在研究区范围创建 1 km × 1 km 渔网，提取 2020 年研究区及周边 5 千米范围内的各级道路和铁路，进行道路密度分析，计算公式为"道路密度=道路长度/网格面积"（图 2：B）。对居民点及道路影响进行加权分析，得到综合人类活动强度等级分布图（图 2：C）。结果表明，人类活动高强度区主要位于什运乡、钱铁村、同甲村等交通便利、海拔较低的地区，在此类地区主要以旱地与灌木林之间的转化为主。以什运乡为例，其位于鹦哥岭山脚，地势平坦，周边有 G224 国道与 G9811 海三高速等琼中重要交通通道，受人类活动干扰严重，在该地区灌木林向旱地、草本植物、灌溉农田等多种地类的转化较为显著，生态系统趋于逆向演替。反之灌木林向常绿阔叶林的正向演替主要发生在蛙岭等高海拔、人类活动中低强度地区。

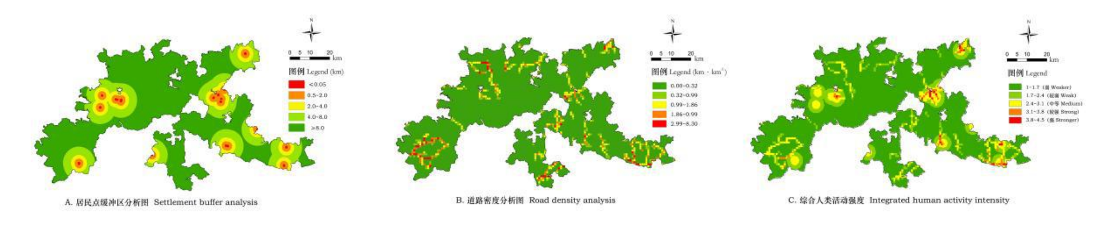



图 2 海南热带雨林国家公园人类活动强度分析图

Fig. 2 Analysis of human activity intensity in Hainan Tropical Rainforest National Park

## 4 讨论与结论

### 4.1 海南热带雨林国家公园景观格局演变规律

海南热带雨林国家公园属典型热带雨林环境，以常绿阔叶林为主要优势景观（Li et al., 2022），其次为灌木林。随着保护和宣传政策不断加强，海南热带雨林面积逐年增加，主要表现为：位于五指山和吊罗山核心保护区及猕猴岭周边地区的常绿阔叶林面积增长，景观优势度增强，破碎度减小，连接成片集中分布。常绿阔叶林主要是由灌木林、针叶林转化，以致灌木林和针叶林面积显著降低，其中，分布于五指山康运岭和什寨岭的灌木林面积大幅缩减，但其景观形状指数最高，斑块形状不规则，边际效应显著。在海南省生态补偿和原住民生态搬迁的政策引导下，旱地向灌木林、阔叶林正向演替；大广坝水库近岸区域水体向湿地、农田等景观负向转化。湿地景观单一动态度最高，表明其变化活跃，呈显著正向增长态势，但湿地景观疏散分布，连通性差，破碎化程度增加；水体景观小幅缩减，但斑块趋于聚集。

早前有学者对海南岛景观格局展开了调查，研究表明霸王岭等片区林地面积正在缓速增长（刘晓双等，2010a; 周亚东和周兆德，2015），而本研究着眼于海南热带雨林国家公园试点区成立前后 5 a 时间，详尽探究了研究区景观格局变化规律，进一步论证了在政策宏观调控之下，海南热带雨林得到了良好的保护，景观破碎度持续降低，雨林生态修复能力提升。

**4.2 海南热带雨林国家公园景观格局变化因素分析**

海南热带雨林国家公园景观格局演变主要受政策因素影响，其次为气候、地形及人为活动干扰等因素。在过去的几十年中，由于经济农林热潮的不断涌现（Feintrenie & Levang, 2009），热带地区的原始雨林正以每年 2%~20%的速度消失（Potapov et al., 2017 ），印度尼西亚热带雨林遭到严重污染（Sahide et al., 2015 ），西双版纳人工经济林面积增长超 20 倍，阔叶林、针叶林面积均显著减少 30%，雨林碳储量锐减，天然林景观格局趋于破碎化（Liu et al., 2017）。得益于海南省天保工程和绿化宝岛行动，持续开展的热带雨林天然林封育保护使得阔叶林面积显著增长，并且在我国退耕还林政策引导下，原住民陆续搬迁出海南热带雨林国家公园核心区，避免了人类活动对雨林生态的影响，在雨林生态系统的自我修复之下（Priyadarshini & Abhilash, 2020），研究区内原有耕地逐步转变为林地。海拔较高的山地雨林以正向自然演替为主，林地面积持续增长，空间聚集性增强。在人类活动较为频繁的地区，雨林生态系统趋于逆向演替，景观破碎化严重，本研究与西双版纳热带森林景观变化较为一致（魏莉莉等，2018）。与亚洲地区不同，刚果热带雨林景观变化的主要驱动因素为气候因素，这是因为非洲地区受气候降水影响严重，降水量的细微变化都可能导致雨林景观与草原发生转化（Giresse et al., 2020）；不恰当的人类活动也是造成非洲地区雨林危机的重要因素之一（Berhanu et al., 2023）。建立国家公园是我国生态文明建设的重要一步，通过政策调控，逐步减少人为因素对热带雨林景观的干扰，保障海南热带雨林生态系统的原真性，对日后中国生态环境保护与发展具有一定的借鉴和指导意义。

**4.3 海南热带雨林国家公园未来发展**

2019 年海南热带雨林国家公园体制试点设立，后入选我国第一批国家公园，海南省亦不断加强对热带雨林国家公园的宣传推广工作。一方面通过广泛的科教宣传，提高了广大群众对热带雨林景观的保护意识，另一方面生态游憩规划建设也将提上日程。研究区未来将趋于多元化发展，核心保护区强调对雨林生态系统进行严格保护，遵循自然演替规律；一般控制区则一定程度面向公众开放，挖掘绿水青山的生态经济价值。为平衡保护与利用的关系，需加强对海南热带雨林国家公园景观的实时监测管理，倡导保护性开发、生态性开发，严禁一切可能破坏雨林景观的建设活动，一般控制区倡导生态宜居化发展，从不同尺度探索具有保护潜力的 HML（human modified landscapes）结构，优化景观组成，探索热带雨林保护的关键生态阈值（Wies et al., 2021），学习国外优秀经验，引入生态系统服务付费等森林治理机制体制，从法律制度方面减少对雨林的无序破坏（Edwards & Giessen, 2014; Berhanu et al., 2023）。

热带雨林国家公园是海南三大河流的发源地，拥有海南第二大水库大广坝水库，水资源丰富。但 5 a 间研究区水体景观面积呈现下降趋势，与逐年增长的降水量变化不相符。应着重加强河流发源地保护力度，建立水源保护区，优化水源涵养布局，增强研究区景观完整性与连通性（Wang et al., 2020 ）。此外，在人类活动较强的什运乡、毛瑞等地区，生态环境较为脆弱，应尽快恢复建设用地如高速公路用地周边植被环境，以建立绿带等形式划分道路缓冲区，形成生态安全屏障，减小对生态环境的影响。热带雨林国家公园生物多样性丰富，是我国至关重要的热带种质基因库，拥有着如海南疣螈（*Tylototriton hainanensis*）、葫芦苏铁（*Cycas changjiangensis*）等国家重点保护动植物，并且霸王岭保护区是全球濒危灵长类动物海南长臂猿（*Nomascus hainanus*）的唯一栖息地（Du et al., 2020）。为进一步提高雨林植被丰富度，为珍稀动物提供优质栖息环境，应不断建立健全生态修复制度，搭建景观生态廊道，种植防护效益较好的树种，加强各保护区之间的连通性，以形成连续的森林生态网络

系统。

本研究时间跨度仅为热带雨林国家公园确立前后的 5 年，未能全面揭示研究区景观格局演变特征及影响因素，在后续研究中将考虑增加时间跨度，讨论研究上世纪九十年代各保护区成立之前景观状况，综合探究研究区整体保护成效。另一方面，研究区属海南省重点保护地区，部分详尽的气象、植被数据较难获取，而政策、人类活动影响因素较难量化统计，后续研究中将扩大选取指标，加大实地调研，进一步挖掘研究区景观格局演变的驱动因素。

**参考文献：**


BELLER EE, SPOTSWOOD EN, ROBINSON AH, et al., 2019. Building ecological resilience in highly modified landscapes [J]. Bioscience, 69(1): 80-92.

BERHANU Y, DALLE G, SINTAYEHU DW, et al., 2023. Land use/land cover dynamics driven changes in woody species diversity and ecosystem services value in tropical rainforest frontier: A 20-year history [J]. Heliyon, 9(2): e13711.

CAO JS, DENG ZY, HU YD, et al., 2021. Spatial and temporal evolution and driving forces of the landscape pattern in Shennongjia Forestry District [J]. J Zhejiang A&F Univ, 38(1): 155-164. [曹嘉铄，邓政宇，胡远东，等，2021. 神农架林区景观格局时空演变及其驱动力分析[J]. 浙江农林大学学报，38(1): 155-164. ]

CHEN YK, YANG Q, MO YN, et al., 2014. A study on the niches of the state’s key protected plants in Bawangling, Hainan Island [J]. Chin J Plant Ecol, 38(6): 576.

DAS P, BEHERA MD, PAL S, et al., 2019. Studying land use dynamics using decadal satellite images and Dyna-CLUE model in the Mahanadi River basin, India [J]. Environ Monit Assess, 191(3):1-17.

DU Y, LI D, YANG X, et al., 2020. Reproductive phenology and its drivers in a tropical rainforest national park in China: Implications for Hainan gibbon (*Nomascus hainanus*) conservation [J]. Global Ecol Conserv, 24: e01317.

EDWARDS P, GIESSEN L, 2014. Global forest governance—discussing legal scholarship from political science perspectives [J]. For Policy Econ, 38: 30-31.

FEINTRENIE L, LEVANG P, 2009. Sumatra’s Rubber Agroforests: Advent, Rise and fall of a Sustainable Cropping System [J]. Small-scale Forsetry, 8(3):323–335.

GIRESSE P, MALEY J, CHEPSTOW-LUSTY A, 2020. Understanding the 2500 yr BP rainforest crisis in West and Central Africa in the framework of the Late Holocene: Pluridisciplinary analysis and multi-archive reconstruction [J]. Global Planet Change, 192: 103257.

HUANG BR, WANG Y, SU LY, et al., 2018. Pilot Programs for national park system in China: progress, problems and recommendations [J]. Bull Chin Acad Sci, 33(1): 76-85. [黄宝荣，王毅，苏利阳，等，2018. 我国国家公园体制试点的进展、问题与对策建议[J]. 中国科学院院刊，33(1): 76-85. ]

LAN G, WU Z, YANG C, et al., 2020. Tropical rainforest conversion into rubber plantations results in changes in soil fungal composition, but underling mechanisms of community assembly remain unchanged [J]. Geoderma, 375: 114505.

JIA YY, TANG XL, TANG FL, et al., 2020. Spatial temporal evolution of landscape pattern in the middle and lower reaches of the Yangtze River basin from 1995 to 2015[J]. J Nanjing For Univ (Nat Sci Ed), 44(3): 185-194. [贾艳艳，唐晓岚，唐芳林，等，2020. 1995—2015 年长江中下游流域景观格局时空演变[J]. 南京林业大学学报(自然科学版)，44(3)：185-194.]

LI D, ZHAN DQ, MENG QW, et al., 2020. Spatiotemporal variation characteristics of forest land in Heilongjiang Province from 1980 to 2015[J]. J Heilongjiang Inst Technol, 34(6): 1-5. [李丹，战大庆，孟庆武，等，2020. 1980—2015 黑龙江省林地时空变化特征[J]. 黑龙江工程学院学报，34(6): 1-5.]

LI L, TANG H, LEI J, et al., 2022. Spatial autocorrelation in land use type and ecosystem service value in Hainan Tropical Rain Forest National Park [J]. Ecol Indic, 137: 108727.

LI S, XIAO W, ZHAO Y, et al., 2020. Incorporating ecological risk index in the multi-process MCRE model to optimize the ecological security pattern in a semi-arid area with intensive coal

mining: A case study in northern China [J]. J Clean Prod, 247: 119143.
LIU H, CHEN Q, LIU X, et al., 2020. Variation patterns of plant composition/diversity in *Dacrydium pectinatum* communities and their driving factors in a biodiversity hotspot on Hainan Island, China [J]. Global Ecol Conserv, 22: e01034.
LIU JY, KUANG WH, ZHAGN ZX, et al., 2014. Spatiotemporal characteristics, patterns and causes of land use changes in China since the late 1980s [J]. Acta Geograph Sin, 69(1): 3-14. [刘纪远，匡文慧，张增祥，等，2014. 20 世纪 80 年代末以来中国土地利用变化的基本特征与空间格局[J]. 地理学报，69(1): 3-14.]
LIU S, YIN Y, LIU X, et al., 2017. Ecosystem Services and landscape change associated with plantation expansion in a tropical rainforest region of Southwest China [J]. Ecol Model, 353: 129-138.
LIU XS, HUANG JW, JU HB, 2010a. Dynamic analysis of landscape pattern in natural forest protection project area of Bawangling, Hainan Province [J]. J Fujian Coll For, 30(1): 28-33. [刘晓双，黄建文，鞠洪波，2010. 海南省霸王岭天然林保护工程区景观格局动态分析[J]. 福建林学院学报，30(1): 28-33.]
LIU XS, 2010b. The study on remote sensing technology of natural forest change monitoring in Hainan Bawangling [D]. Beijing: Chinese Academy of Forestry: 75. [刘晓双，2010. 海南省霸王岭天然林变化的遥感监测技术研究[D]. 北京：中国林业科学研究院：75.]
MANOLAKI P, CHOURABI S, VOGIATZAKIS I N, 2021. A rapid qualitative methodology for ecological integrity assessment across a Mediterranean island's landscapes [J]. Ecol Complex, 46: 100921.
MCGARIGAL K, COMPTON BW, PLUNKETT EB, et al., 2018. A landscape index of ecological integrity to inform landscape conservation [J]. Landscape Ecol, 33(7): 1029–1048.
MUHAMMED A, ELIAS E, 2021. Class and landscape level habitat fragmentation analysis in the Bale mountains national park, southeastern Ethiopia [J]. Heliyon, 7(7): e07642.
PENG WC, YANG J, HUANG SQ, et al., 2022. Effect of close-to-nature management on growth regeneration and species diversity in *Acacia mangium* plantation [J]. Trop For, 50(4): 13-17. [彭文成，杨佳，黄士绮，等，2022. 近自然改造对马占相思人工林生长更新及物种多样性影响[J]. 热带林业，50(4): 13-17.]
PLIENINGER T, BIELING C, 2012. Resilience and the cultural landscape—understanding and managing change in human shaped environments [J]. Landscape Ecol, 28(9): 1841–1843.
POTAPOV P, HANSEN MC, LAESTADIUS L, et al., 2017. The last frontiers of wilderness: Tracking loss of intact forest landscapes from 2000 to 2013[J]. Sci Advan, 3(1): e1600821.
PRIYADARSHINI P, ABHILASH PC, 2020. Fostering sustainable land restoration through circular economy - governed transitions [J]. Restor Ecol, 28(4): 719-723.
SAHIDE MAK, NURROCHMAT DR, GIESSEN L, 2015. The regime complex for tropical rainforest transformation: Analysing the relevance of multiple global and regional land use regimes in Indonesia [J]. Land Use Policy, 47: 408-425.
SCHEFFER M, BARRETT S, CARPENTER SR, et al., 2015. Creating a safe operating space for iconic ecosystems [J]. Science, 347(6228): 1317-1319.
SONG XL, HAO ZJ, LI XQ, 2013. Analysis of land use change impacts in the forest area of Jianfengling, Hainan Province [J]. Anhui Agr Sci Bull, 19(13): 109. [宋晓丽，郝志军，黎兴强，2013. 海南尖峰岭林区土地利用变化影响分析[J]. 安徽农学通报，19(13): 109.]
SZILASSI P, BATA T, SZABÓ S, et al., 2017. The link between landscape pattern and vegetation naturalness on a regional scale [J]. Ecol Indic, 81: 252-259.
TURNER MG, RUSCHER CL, 1988. Changes in landscape patterns in Georgia, USA [J]. Landscape Ecol, 1(4): 241-251.
TZANOPOULOS J, VOGIATZAKIS IN, 2011. Processes and patterns of landscape change on a small Aegean island: The case of Sifnos, Greece [J]. Landscape Urban Plan, 99(1): 58-64.
WANG L, WANG S, ZHOU Y, et al., 2020. Landscape pattern variation, protection measures, and land use/land cover changes in drinking water source protection areas: A case study in Danjiangkou Reservoir, China [J]. Global Ecol Conserv, 21: e00827.

WANG XL, 2000. Analysis on demographic factors and land use/land cover change [J]. Resour Sci , 3: 39-42. [王秀兰，2000. 土地利用/土地覆盖变化中的人口因素分析[J]. 资源科学，3: 39-42.]

WEI LL, KOU WL, XIANG LL, et al., 2018. Topographic difference analysis of tropical forest landscape fragmentation in Xishuangbanna [J]. J SW For Univ(Nat Sci Ed), 38(2): 95-102. [魏莉莉，寇卫利，向兰兰，等，2018. 西双版纳热带森林景观破碎化地形差异性分析[J]. 西南林业大学学报(自然科学)，38(2): 95-102.]

WEI QG, MENG W, 2015. Yinggeling landscape pattern changes vulnerability [J]. Trop For, 43(2): 40-44. [韦庆高，孟伟，2015. 鹦哥岭景观格局脆弱性动态变化研究[J]. 热带林业，43(2)： 40-44.]

WIES G, ARZETA SN, RAMOS MM, 2021. Critical ecological thresholds for conservation of tropical rainforest in Human Modified Landscapes [J]. Biol Conserv, 255: 109023.

XU H, 2010. The spatial-temporal variation of species diversity in the natural tropical forests of Jianfengling on Hainan Island, south China [D]. Beijing: Chinese Academy of Forestry: 164. [许涵，2010. 海南尖峰岭热带天然林物种多样性时空变化规律研究[D]. 北京：中国林业科学研究院：164.]

XIAO Z, SHI JK, YUE P, et al., 2010. Analysis of land cover change and landscape pattern in the district of Wuzhi mountain of Hainan province [J]. J Anhui Agric Sci, 38(16):8597-8599. [肖智，史建康，岳平，等，2010. 海南岛五指山规划区土地覆被变化与景观格局分析[J]. 安徽农业科学，38(16)：8597-8599.]

YANG Q, HU P, WANG JH, et al., 2020. Landscape pattern change and response analysis in Zhalong wetland and the Wuyuer River Basin, 1980-2018[J]. Hydrogeol J, 41(5): 77-88. [杨钦，胡鹏，王建华，等，2020. 1980-2018 年扎龙湿地及乌裕尔河流域景观格局演变及其响应[J]. 水生态学杂志，41(5): 77-88.]

YOU M, ZOU Z, ZHAO W, et al., 2023. Study on land use and landscape pattern change in the Huaihe River Ecological and Economic Zone from 2000 to 2020[J]. Heliyon, 9(3): e13430.

YU F, LI ZY, 2020. Forests landscape pattern changes and driving forces in Mount Tianmu [J]. J Zhejiang A&F Univ, 37(3): 439-446. [俞飞，李智勇，2020. 天目山林区景观格局时空变化及驱动因素分析[J]. 浙江农林大学学报，37(3): 439-446.]

ZANG ZH, ZHANG D, WANG N, et al., 2020. Experiences, achievement, problems and recommendations of the first batch of China′ s national park system pilots [J]. Acta Ecol Sin, 40(24): 8839-8850.[臧振华，张多，王楠，等，2020.中国首批国家公园体制试点的经验与成效、问题与建议[J].生态学报，40(24): 8839-8850.]

ZHANG M, WANG J, LI S, et al., 2020. Dynamic changes in landscape pattern in a large-scale opencast coal mine area from 1986 to 2015: A complex network approach [J]. Catena, 194: 104738.

ZHANG X, NING X, Wang H, et al., 2022. Quantitative assessment of the risk of human activities on landscape fragmentation: A case study of Northeast China Tiger and Leopard National Park [J]. Sci Total Environ, 851: 158413.

ZHOU YD, ZHOU ZD, 2015. Study on forest landscape patterns based on GIS and Fragstats in Hainan province [J]. J Centr S For Technol Univ, 35(5): 78-83. [周亚东，周兆德，2015. 基于 GIS 与 Fragstats 的海南岛森林景观格局研究[J]. 中南林业科技大学学报，35(5): 78-83.]